

**METODE UJI KETELITIAN UNJUK KERJA ALAT UKUR
DENGAN PENERAPAN PERSAMAAN DISTRIBUSI NORMAL
(CONTOH KASUS LASER DOPPLER ANEMOMETER)**

Agatha Padma Laksitaningtyas, Djoko Legono dan Bambang Yulistiyanto
Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Email: agathapadma@mail.ugm.ac.id

Abstrak: Statistika dan probabilitas merupakan salah satu cara yang digunakan dalam proses sinyal secara digital. Proses sinyal secara digital berfungsi untuk mengukur, mengelompokkan dan memproses menjadi komponen data yang menyinggung suatu obyek. Menentukan rasio daya sinyal ke “noise” pada penerimaan sistem input dan output sangat penting untuk memperkirakan kualitas dan kapasitas penerimaan sinyal dari suatu alat *Laser Doppler Anemometer (LDA)*. LDA merupakan salah satu contoh peralatan ukur yang berfungsi untuk mengukur kecepatan yang akan mengeluarkan frekuensi sehingga menghasilkan sinyal. Masalah mendasar dalam pengukuran sinyal adalah bagaimana membedakan sinyal mendasar yang sebenarnya dari “noise”. Tujuan dari penelitian ini untuk menguji ketelitian unjuk kerja alat ukur untuk menentukan “noise” dari sinyal yang dikeluarkan oleh LDA. Analisis yang digunakan dengan menggunakan metode persamaan distribusi normal yang akan menghasilkan suatu nilai batas untuk sinyal dan noise. Pengujian dilakukan pada dua buah saluran terbuka di laboratorium berbentuk U dan S. Pada Saluran U terdapat empat titik pengujian, sedangkan untuk saluran S terdapat 8 titik pengujian. Untuk masing-masing titik dilakukan tiga kali pengujian. Uji akurasi dari pembacaan sinyal LDA menunjukkan bahwa frekuensi pembacaan sinyal pada saluran U yaitu 92,47% dengan nilai “noise” bernilai 7,53%. Uji akurasi dari pembacaan sinyal LDA menunjukkan bahwa frekuensi pembacaan sinyal pada saluran S yaitu 93,74% dengan nilai “noise” bernilai 6,26%.

Kata kunci: LDA, ketelitian, alat ukur, distribusi normal

***METHOD OF MEASURING INSTRUMENT ACCURACY WITH APPLICATION OF
NORMAL DISTRIBUTION EQUATION (CASE: THE LASER DOPPLER ANEMOMETER)***

Abstract: *Statistics and probability is one of the methods used in digital signal processing to measure. Digital signal processing functions to measure, classify and process into data component that offend an object. Determining the ratio of signal power to noise at the reception of input and output systems is very important to estimate the quality and capacity of signal reception from an instrument Laser Doppler Anemometer (LDA) device. LDA is an example of a measuring instrument that functions to measure the speed that will issue frequencies so as to produce a signal. The basic problem in signal measurement is how to distinguish the true fundamental signal from noise. The purpose of this study is to test the accuracy testing of the performance of a measuring tool to determine the noise from a signal issued by an LDA. The analysis used is using the normal distribution equation which will produce a boundary value for the signal and noise. The test is carried out on two open channels in the laboratory in the form of U and S shaped channels. In U Channel there are four test points, while for S Channel there are eight test points. For each point was done three times testing. The accuracy test of the LDA signal reading shows that the frequency of the signal reading on the U channel is 92.47% with a noise value of 7.53%. The accuracy test of the LDA signal reading shows the signal reading frequency on the S channel is 93.74% with a noise value of 6.26%.*

Keywords: *LDA, accuracy, instrument, normal distribution*

PENDAHULUAN

Statistika dan probabilitas merupakan salah satu cara yang digunakan dalam proses sinyal secara digital. Proses sinyal secara digital berfungsi untuk mengukur, mengelompokkan dan memproses menjadi komponen data yang menyinggung suatu obyek. Menentukan rasio daya sinyal ke “noise” pada penerimaan sistem input dan output sangat penting untuk memperkirakan kualitas dan kapasitas penerimaan sinyal dari suatu alat *Laser Doppler Anemometer* (LDA). Hidraulika zat cair merupakan salah satu bidang ilmu terapan yang berkaitan dengan sifat-sifat mekanis dari fluida terutama zat cair dalam bidang teknik sipil, yang mempelajari mengenai karakteristik zat cair. Hidraulika saluran terbuka mempelajari mengenai karakteristik zat cair yang berada pada muka zat cair yang langsung berhubungan dengan udara. Pengukuran dilakukan pada saluran terbuka untuk mempelajari mengenai karakteristik data. Pengukuran penting dilakukan untuk menyadari bahwa terdapat nilai rekaman dari pembacaan alat yang diberikan oleh parameter adalah sempurna dan akurat.

Instrumen tidak mengukur nilai dari suatu hasil parameter adalah “nilai benar”, tetapi instrumen akan memberikan perkiraan dari nilai suatu data. Dalam suatu pengukuran, terdapat pertanyaan: Apakah pengukuran tersebut akurat? Apabila dalam pengukuran terdapat ketidakakuratan dapat dianggap sebagai ketidakpastian dan bukan merupakan kesalahan. Sebuah kesalahan adalah tetap, sedangkan perbedaan antara nilai benar dan salah tidak berubah. “Noise” adalah statistik nilai yang merupakan kesalahan yang diasumsikan dapat terjadi pada setiap pengukuran. Total ketidakpastian merupakan jumlah bias dari nilai data yang presisi. Bias sendiri merupakan sistematis ketidakpastian yang ada pada suatu uji coba, dan akan tetap ada selama pengukuran. Formula statistik dapat dilakukan dan diterapkan untuk memperkirakan ketidakpastian, maka nilai yang harus didapatkan merupakan nilai perkiraan dari data yang dihasilkan (Potter et al, 2010).

Laser Doppler Anemometer (LDA) merupakan salah satu alat ukur yang berfungsi untuk mengukur kecepatan yang akan mengeluarkan frekuensi sehingga

menghasilkan sinyal. LDA digunakan untuk mengukur kecepatan (khususnya fluktuasi turbulensi dengan frekuensi tinggi). LDA dapat mengukur kecepatan aliran dan tidak mengganggu aliran selama proses pengukuran. Pengukuran dan data yang dihasilkannya harus dapat diketahui untuk mengenali jenis sinyal yang dihasilkan, sehingga memiliki harapan untuk mengetahui apa itu sinyal dan apa itu “noise”. Efek *doppler* merupakan metode untuk mengukur kecepatan linier, ketika sinar laser (atau sinar radio atau sinar ultrasonik) berfokus pada suatu benda, sinar tersebut akan dipantulkan kembali ke sumbernya. Tetapi jika objek fokus yang bergerak, frekuensi dari sinyal yang diterima akan berbeda dari frekuensi sinyal yang dikirim. Perbedaan frekuensi (pergeseran *doppler*) menjadi suatu pengukuran kecepatan suatu objek (Areej, 2018). LDA beroperasi dengan pengukuran frekuensi Doppler pada radiasi sinyal yang tersebar pada partikel-partikel kecil di aliran. Pemrosesan sinyal LDA mencakup 2 (dua) yaitu mendeteksi dan menghitung, pada LDA yang baru proses penghitungan frekuensi dari sinyal yang terdeteksi dilakukan dalam mode otomatis dengan metode analisis spektral (Klimov et al, 2017).

Teknik LDA merupakan salah satu teknik pengukuran yang sering digunakan dalam pengukuran aliran terutama pada saluran terbuka karena telah diakui secara signifikan dapat mengakomodir sifat-sifat unik yang menguntungkan dalam berbagai macam penyelidikan experimental. LDA dapat membedakan komponen kecepatan spasial aliran satu dengan yang lainnya. Terdapat sistem LDA yang telah dibatasi dengan beberapa batasan praktis seperti misalnya untuk pengukuran aliran turbulen yang memerlukan rentang dinamik yang tinggi dan rasio sinyal dan noise (Yaacob et al., 2019). Teknik LDA merupakan teknik diagnostik non kontak, yang berdasarkan Prinsip Doppler, yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sesaat. Efek Doppler didasarkan pada pengamatan perubahan Panjang gelombang sinar laser yang dipantulkan, yang merupakan fungsi dari kecepatan relatif dari objek yang bergerak yang terkena sinar laser (Ozbek et al, 2012).

LDA dapat menjadi salah satu cara yang mungkin untuk mengukur kecepatan aliran lokal dan metode yang paling praktis untuk menyelidiki sifat dinamis dari aliran. Sinar koheren monokromatik yang dihasilkan oleh laser memiliki stabilitas frekuensi yang sangat tinggi, percobaan ini menggunakan mode doppler differensial. Objek yang bergerak yang ditangkap oleh LDA akan menghasilkan sinyal yang dalam penghitungan berjalan disimpan dari tiga parameter: (1) jumlah sampel telah diproses, (2) jumlah sampel dari data, (3) jumlah kuadrat dari sampel (kuadrat nilai setiap sampel kemudian menambahkan hasil ke nilai akumulasi). Setelah nomor berapapun, sampel yang telah diproses, mean, standar deviasi dapat dihitung secara efisien hanya menggunakan nilai yang berasal dari tiga parameter tersebut. Untuk mempelajari mengenai aliran terutama pada saluran dengan kedalaman rendah dan terperinci masih sangat penting. LDA digunakan untuk mengukur. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui uji akurasi ketelitian unjuk kerja alat ukur *laser doppler anemometer* (LDA) dengan penerapan persamaan distribusi normal.

TINJAUAN PUSTAKA

Sinyal Dan "Noise"

Sinyal adalah gambaran mengenai bagaimana salah satu parameter terkait dengan parameter lainnya, parameter tersebut merupakan perekam data, termasuk "noise" dan artefak lainnya. Parameter merupakan bagian data yang diinginkan atau data yang mendasar penting yang ingin diukur. Sinyal terbentuk dari parameter yang dikuantitasi dengan cara yang dapat dikatakan sebagai sinyal diskrit atau sinyal digital. Istilah "sinyal" sebenarnya memiliki dua arti: dalam arti yang lebih umum, ini dapat berarti seluruh perekaman data, termasuk "noise" dan artefak lainnya, seperti dalam "sinyal mentah" sebelum pemrosesan diterapkan. Tetapi itu juga bisa berarti hanya bagian data yang diinginkan atau penting, sinyal mendasar yang sebenarnya ingin diukur. Sebagian besar sinyal kontinu berada di alam, sedangkan sinyal diskrit biasanya tercatat pada komputer, ataupun sinyal campuran dimana sinyal tersebut dapat memiliki keduanya

dimana satu parameter kontinu dan yang lainnya diskrit yang harus dinyatakan secara eksplisit. Masalah mendasar dalam pengukuran sinyal adalah membedakan sinyal mendasar yang sebenarnya dari "noise" (Smith, 2003).

Sinyal *doppler* berisi mengenai informasi kecepatan sebagai modulasi frekuensi dari arus detektor yang diambil oleh photomultiplier dan diterjemahkan ke pulsa. Elektron pemrosesan sinyal pada dasarnya berfungsi sebagai demodulator frekuensi, karakter khusus dari sinyal menuntut detektor frekuensi yang sangat canggih. Pengoperasian LDA dikatakan berhasil dengan baik bila frekuensi tembakan dalam sinyal merupakan frekuensi dominan. Pola akustik dapat direpresentasikan sebagai tidak stationer dari sinyal yang acak, dimana non stationary ditentukan oleh perubahan kecepatan objek yang bergerak, komponen frekuensi berubah karena efek *doppler* (Nezu and Rodi, 1987).

Statistik dan Probabilitas

Statistik merupakan ilmu yang menafsirkan data numerik, salah satunya merupakan sinyal, sebagai perbandingan probabilitas digunakan dalam *Digital Signal Processing* (DSP) untuk memahami proses yang menghasilkan sinyal. Terdapat perbedaan antara sinyal yang didapat dan bagaimana proses yang mendasari.

Statistik dan probabilitas digunakan pada Pemrosesan Sinyal Digital atau DSP, untuk mengkategorikan sinyal-sinyal dan proses yang menghasilkan. Penggunaan DSP untuk mengurangi gangguan, "noise" dan komponen lain yang tidak diinginkan dalam data yang diperoleh. Data merupakan bagian yang berhubungan erat dari sinyal yang diukur dan timbul dari ketidaksempurnaan sistem akuisisi data atau diperkenalkan sebagai produk sampingan yang tidak dapat dihindari dari pengoperasian DSP. Salah satu dari cara untuk mengukur dan mengkategorikan gangguan yang muncul dari hasil pembacaan suatu alat sehingga dapat menjadi komponen yang menyinggung yaitu dengan menggunakan statistik dan probabilitas (Smith, 2003).

Distribusi probabilitas dari nilai acak yang berkelanjutan dapat diasumsikan bahwa suatu nilai tersebut merupakan

interval data. Nilai rata-rata atau mean (μ) adalah nilai rata-rata suatu data atau sinyal dapat dilihat dalam Persamaan 1.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \quad (1)$$

Standar Deviasi atau Simpangan baku dihasilkan dengan cara mengkuadratkan masing-masing penyimpangan sebelum mengambil rata-rata. Standar deviasi merupakan ukuran keagaman (variasi) dari data statistik yang dimanfaatkan untuk menentukan sebuah sebaran data dalam suatu sampel, serta seberapa dekat titik data individu ke nilai tengah atau rata-rata nilai sampelnya. Standar deviasi didapatkan dari akar kuadrat varian, jika salah satu nilai dari kedua ukuran tersebut diketahui maka akan diketahui juga nilai ukuran yang lain. Untuk menyelesaikan, akar kuadrat diambil untuk kompensasi dari inisial kuadrat. Dalam bentuk persamaan matematika dengan persamaan 2, dan dengan alternatif persamaan pada Persamaan 3.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2 \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{(x_0 - \mu)^2 + (x_1 - \mu)^2 + \dots + (x_{N-1} - \mu)^2 / (N - 1)}} \quad (3)$$

Dari persamaan 1 dan 2 maka didapatkan persamaan untuk menghitung standar deviasi adalah Persamaan 4 atau dengan menggunakan notasi yang lebih mudah dengan menggunakan Persamaan 5.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\text{sum of square} - \frac{\text{sum}^2}{N} \right] \quad (5)$$

Mean menggambarkan apa (data atau sinyal) yang diukur, sedangkan standar deviasi mewakili “noise” dan gangguan lainnya. Dalam pembacaan sinyal yang hanya terdapat satu bacaan sinyal, standar deviasi itu sendiri tidak penting, tetapi hanya dibanding dengan rata-rata, yang akan memunculkan istilah rasio *signal-to-noise* (SNR), yang sama dengan rata-rata dibagi dengan standar deviasi. Dalam penelitian ini bagaimana menentukan statistik atau probabilitas dari proses yang mendasari yang menghasilkan sinyal dari mean dan standar deviasi. Untuk mengetahui terjadinya kesalahan karena

“noise” statistik diantara nilai mean dari sinyal dan nilai mean yang mendasarinya, khususnya untuk sinyal acak dapat menggunakan Persamaan 6.

$$\text{typical error} = \frac{\sigma}{N^{1/2}} \quad (6)$$

Jika N kecil, statistika “noise” dalam perhitungan nilai mean akan sangat besar, sehingga tidak perlu akses untuk memproses data yang memadai. Semakin besar nilai N maka akan semakin kecil nilai kesalahan yang diharapkan. Dalam teori probabilitas, kesalahan akan menjadi 0 ketika N mendekati jumlah tak terbatas. Untuk menghitung standar deviasi dari sinyal yang diperoleh dan menggunakannya untuk menentukan dari proses yang mendasarinya hanya dari sinyal titik N, yang berisi kesalahan karena statistic “noise” (Smith, 2003).

Histogram

Gagasan atau ide yang penting bahwa sinyal yang diperoleh terdapat “noise” yang mendasari proses pengambilan sinyal tersebut. Histogram terbentuk dari sinyal yang diperoleh, kurva yang sesuai untuk proses yang mendasarinya dapat disebut kurva probabilitas masa atau *probability mass function* (PMF). Histogram selalu menghitung dengan jumlah sampel yang terbatas, sedangkan pmf dengan jumlah sampel yang tidak terbatas. PMF dapat diperkirakan (disimpulkan) dari histogram, atau dapat ditentukan dari metode matematika. Sumbu vertikal pada histogram menunjukkan berapa kali nilai muncul dalam sinyal. Sumbu vertikal pada pmf berisi informasi yang sama, kecuali dinyatakan dalam dasar fraksional. Setiap nilai dalam histogram dibagi dari nilai total jumlah sampel untuk mendekati pmf, yang berarti bahwa pmf harus diantara 0 dan 1, dan jumlah total nilai dari pmf akan sama dengan satu.

Histogram menampilkan jumlah sampel yang berada pada data sinyal yang mempunyai masing-masing nilai kemungkinan. Semakin besar jumlah sampel yang dihasilkan maka hasil yang dikeluarkan akan semakin halus. Sama dengan mean, histogram statistik “noise” berbanding

terbalik ke akar kuadrat dari jumlah sampel yang digunakan. Dari cara tersebut sehingga jumlah semua nilai harus sama dengan jumlah titik dalam sinyal dalam Persamaan 7.

$$\mu = \sum_{i=0}^{M-1} H_i \quad (7)$$

Histogram dapat digunakan untuk menghitung mean dan standar deviasi pada data yang sangat banyak. Histogram mengelompokkan sampel yang memiliki nilai yang sama. Mean dan standar deviasi dari histogram dapat dihitung dengan Persamaan 8 dan Persamaan 9.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{M-1} iH_i \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (i - \mu)^2 H_i \quad (9)$$

Beberapa konsep dapat diterapkan untuk menerima sinyal yang diterima terdapat “noise” dari suatu proses, dan bagaimana proses tersebut terbentuk. Histogram terbentuk dari sinyal yang didapat. Pengumpulan data yang membentuk kurva yang sesuai dengan proses yang mendasarinya dapat juga disebut dengan probabilitas fungsi massa atau probability mass function (pmf). Peran pmf sangat penting karena menggambarkan probabilitas bahwa nilai tertentu akan dihasilkan. Histogram dan pmf hanya dapat digunakan pada data terbatas. Konsep yang sama diterapkan pada sinyal menerus. Probabilitas fungsi kepadatan atau *probability density function* (pdf) dapat juga disebut probabilitas distribusi fungsi distribusi atau *probability distribution function* yang adalah untuk sinyal menerus untuk fungsi masa sinyal terbatas (Smith, 2003).

Distribusi Normal

Sinyal terbentuk dari proses yang random biasanya mempunyai bentuk pdf seperti lonceng (*bell shaped*) yang dapat disebut distribusi normal, distribusi Gauss atau Gaussian, dengan Persamaan 10. Kurva hasil dari distribusi normal yang telah dikonversi ditambahkan nilai mean dan standar deviasi yang akan menghasilkan bentuk distribusi normal dengan Persamaan 11.

$$y(x) = e^{-x^2} \quad (10)$$

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

Menentukan rasio daya sinyal ke “noise” pada penerimaan sistem input dan output sangat penting untuk memperkirakan kualitas dan kapasitas penerimaan sinyal dari suatu alat. Masalah ini sangat penting dalam kasus ketika keduanya sinyal dan noise mempunyai karakteristik yang sama dengan Gaussian *white noise* (Stec and Susek, 2018). Pembacaan suatu *data logger* biasanya akan memperoleh data yang dihasilkan akurat untuk tujuan yang diinginkan. Pada situasi yang lain terdapat beberapa kondisi yang membutuhkan sarana yang lebih kompleks dari data yang akuisisi. Pengukuran yang berkembang mengharuskan data yang direkam secara otomatis, cepat, dan akurat, yang akan tersimpan pada data komputer yang telah merevolusi akuisisi dari aliran data. Data hasil pengukuran direkam secara otomatis, cepat, dan akurat terdapat transduser memberikan tegangan keluaran sinyal (sebuah analog sinyal) yang dapat diubah menjadi suatu digital signal sebelum dapat menyimpan dan memproses data. Standar deviasi dihitung dari satu set kecil pengukuran bisa jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah daripada standar deviasi aktual dari sejumlah besar pengukuran. Integral dari pdf digunakan untuk menentukan probabilitas bahwa suatu sinyal akan berada dalam kisaran nilai tertentu yang merupakan fungsi dari distribusi kumulatif atau *cumulative distribution function* (cdf)

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dapat diketahui berapa besar rentang keakuratan dan ketidakakuratan data terutama sinyal dihasilkan. Pengujian dilakukan pada dua buah saluran terbuka di laboratorium berbentuk U dan S. Pada Saluran berbentuk U terdapat empat titik pengujian, sedangkan untuk saluran berbentuk S terdapat 8 titik pengujian. Untuk masing-masing titik dilakukan tiga kali pengujian.

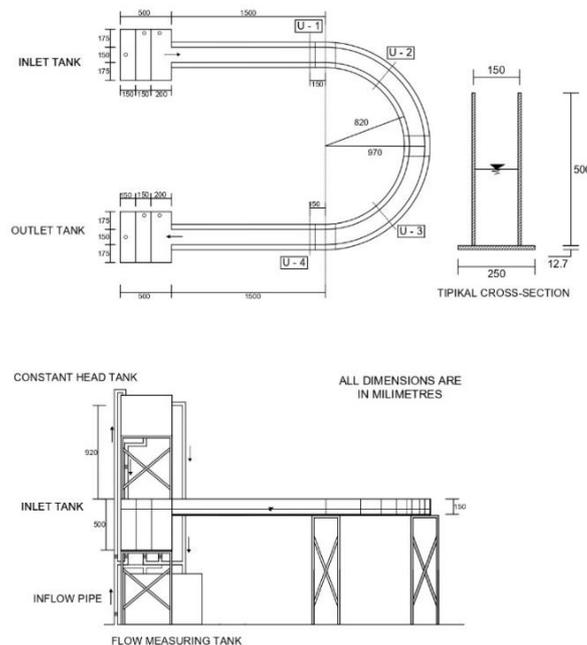
Pengambilan data dilakukan oleh pada dua buah saluran yang berkelok-kelok, aliran pada saluran yang berkelok-kelok mempunyai beberapa dampak yang penting. Penelitian dilakukan untuk mengukur rerata lokal dan fluktuasi kecepatan pada titik-titik yang berbeda pada penampang melintang yang sama pada belokan pada saluran

terbuka. Pengukuran kecepatan dekat dengan batas dilakukan dengan menggunakan LDA. Pengukuran LDA dilakukan pada belokan saluran terbuka, pada saluran berbentuk U dan S dengan bentuk saluran terbuka persegi empat. Pengukuran dilakukan pada aliran dengan debit yang berbeda tetapi dengan kedalaman yang sama. Pembacaan sinyal diperoleh adalah DC dan RMS, pembacaan sinyal DC yang akan digunakan untuk mengetahui berapa besarnya sinyal dan "noise" yang dihasilkan oleh LDA. Nilai RMS mengukur kedua nilai komponen AC dan DC dalam standar deviasinya. Untuk saluran berbentuk U terdapat empat titik acuan untuk pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1, saluran berbentuk S terdapat 8 titik acuan dapat dilihat pada Gambar 2. Saluran U terdapat titik U1, U2, U3, U4, sedangkan Saluran S terdapat titik S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, dan S8. Titik U1, U4, S1 dan S8 berada pada saluran yang lurus, sedangkan yang lain berada pada saluran berkelok. Pada setiap titik terdapat dengan masing-

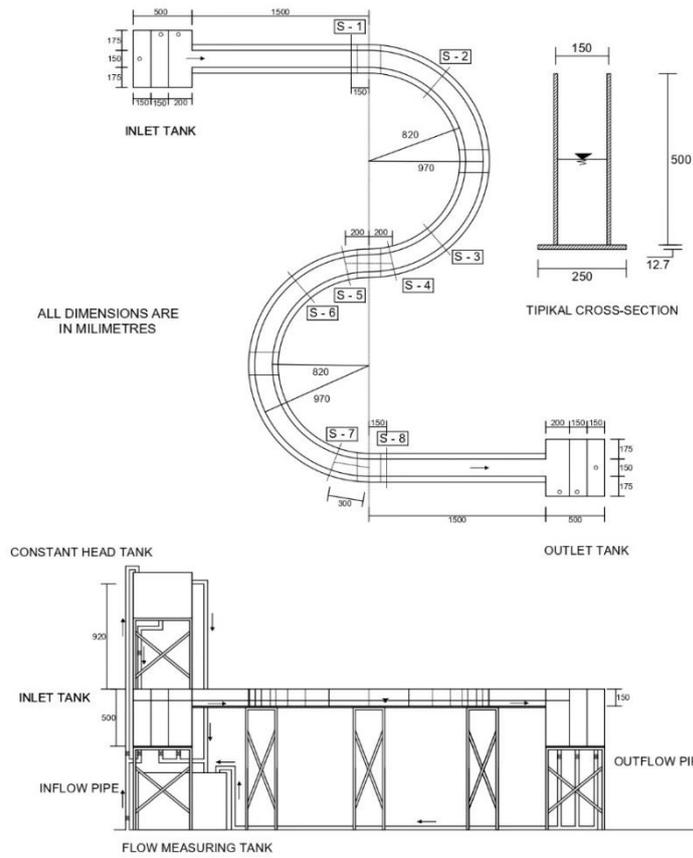
masing tiga kali pengukuran dengan kedalaman yang berbeda. Pengukuran No. 1 pada masing-masing titik menghasilkan 45 pembacaan sinyal, sedangkan pengukuran No. 2 dan No. 3 menghasilkan 54 pembacaan sinyal (Legono, 1986).

HASIL DAN PEMBAHASAN

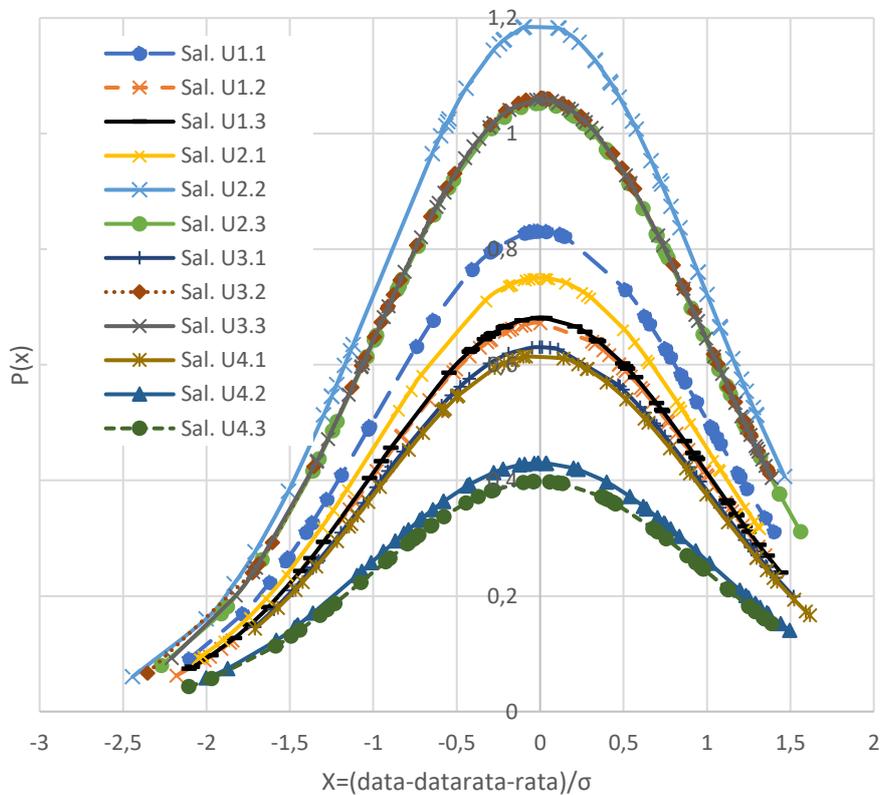
Data yang diperoleh diproses menurut persamaan distribusi normal pada persamaan 11 sehingga menghasilkan kurva seperti lonceng seperti ditunjukkan pada Gambar 3 untuk Saluran U. Kurva fungsi distribusi kumulatif untuk Saluran U seperti ditunjukkan pada Gambar 4, untuk menunjukkan probabilitas dari nilai frekuensi yang dihasilkan oleh LDA pada Saluran U. Gambar 5, menunjukkan grafik kurva distribusi normal dari Saluran U, sedangkan kurva fungsi distribusi kumulatif untuk Saluran S dapat dilihat pada Gambar 6.



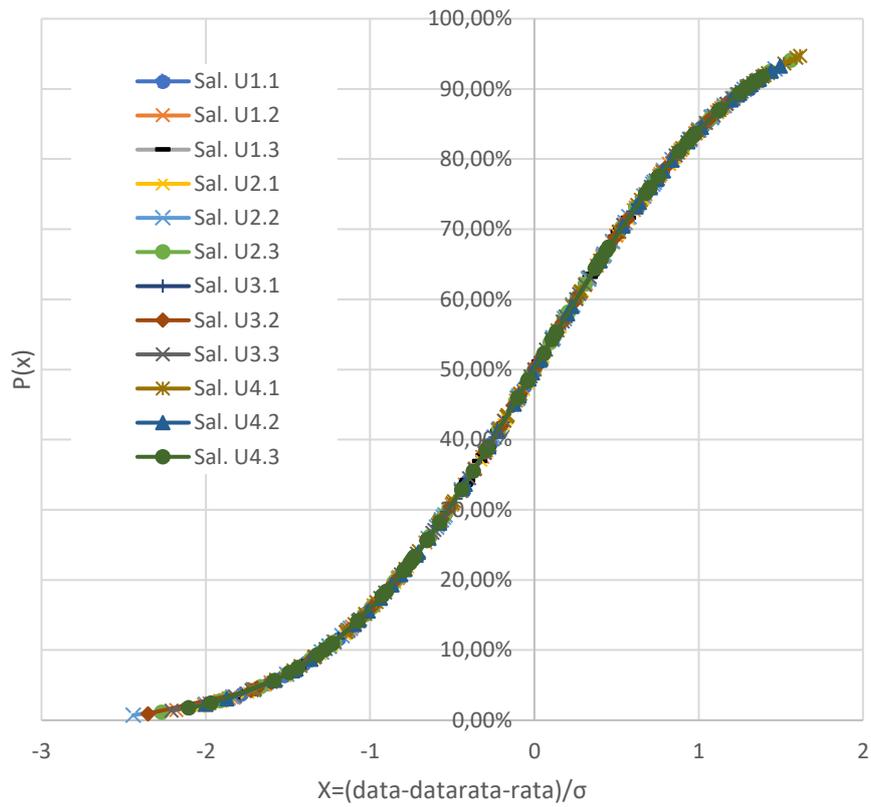
Gambar 1. Detail saluran percobaan berbentuk U
 Sumber: Legono (1986)



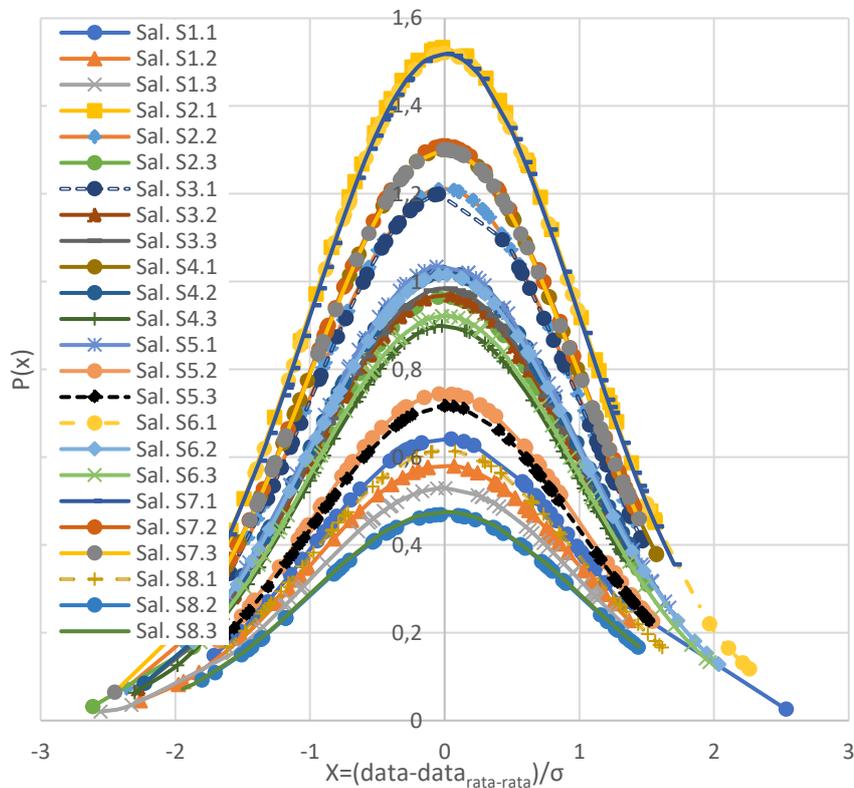
Gambar 2. Detail saluran percobaan berbentuk S
Sumber: Legono (1986)



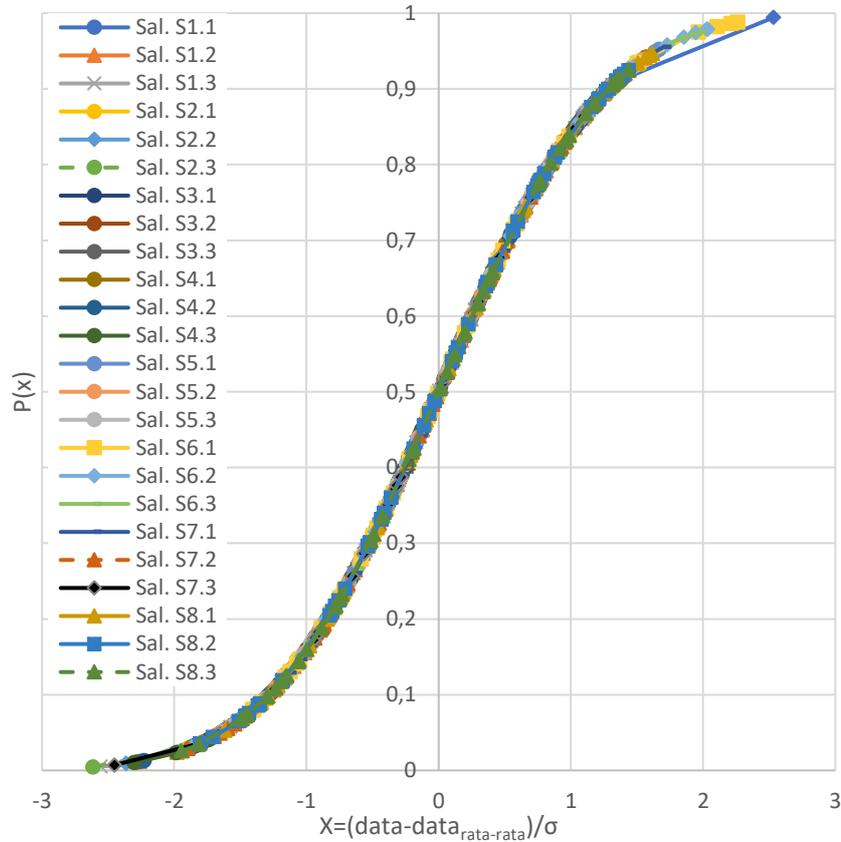
Gambar 3. Grafik Distribusi Normal Saluran U



Gambar 4. Grafik Fungsi Distribusi Kumulatif Saluran U



Gambar 5. Grafik Distribusi Normal Saluran U



Gambar 4. Grafik Fungsi Distribusi Kumulatif Saluran S

SIMPULAN

Metode untuk uji ketelitian unjuk kerja alat ukur untuk menentukan *noise* atau ketidakakuratan dari sinyal yang dikeluarkan oleh LDA dengan menggunakan persamaan distribusi normal yang akan menghasilkan suatu nilai batas untuk sinyal dan noise. Pengujian dilakukan pada dua buah saluran terbuka di laboratorium berbentuk U dan S. Pada Saluran berbentuk U terdapat empat titik pengujian, sedangkan untuk saluran berbentuk S terdapat 8 titik pengujian. Untuk masing-masing titik dilakukan tiga kali pengujian. Uji akurasi dari pembacaan sinyal LDA menunjukkan bahwa frekuensi pembacaan sinyal pada saluran U yaitu 92,47% dengan nilai “noise” bernilai 7,53%. Uji akurasi dari pembacaan sinyal LDA menunjukkan bahwa frekuensi pembacaan sinyal pada saluran S yaitu 93,74% dengan nilai “noise” bernilai 6,26%.

DAFTAR PUSTAKA

Areej. 2018. *Laser Doppler Anemometer*. Available at: <https://automationforum.co/what-is-laser-doppler-anemometer/>.

Klimov, A. V., Rakhmanov, V. V. and Shchepikhin, I. V. 2017. *Automatic parameters adjustment of LDA signals detection system*. *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM*. (June). pp. 328–331. doi: 10.1109/EDM.2017.7981766.

Legono, D. 1986. *Behaviour of Flow in Open Channel Bends*. Thesis submitted to The City University. The City University.

Nezu, I. and Rodi, W. 1987. *Open-channel flow measurements with a laser doppler anemometer*. *Journal of*

- Hydraulic Engineering*. 113(12). pp. 1574–1575. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:12(1574).
- Ozbek, A. S. A., Weerheijm, J., Schlangen, E., and Van Breugel, K. 2012. *Drop weight impact strength measurement method for porous concrete using laser Doppler velocimetry*. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 24(10). pp. 1328–1336. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000511.
- Potter, M. C., Wiggert, C. D. and Ramadan, H. B. 2010. *Mechanics of Fluid*. 4th edn. Stamford: Cengage Learning.
- Smith, S. W. 2003. *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists*. *IEEE Signal Processing Magazine*.
- Stec, B. and Susek, W. 2018. *Theory and measurement of signal-to-noise ratio in continuous-wave noise radar*. *Sensors (Switzerland)*. 18(5). doi: 10.3390/s18051445.
- Yaacob, M. R., Schlender, R.K., Buchhave, P., and Velte, M. C. 2019. *A novel laser Doppler anemometer (LDA) for high-accuracy turbulence measurements*. Available at: <http://arxiv.org/abs/1905.08066>.